

## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

диссертационной работы Демьянова Георгия Сергеевича «Эффективный учет дальнего действия в моделировании классических и квантовых кулоновских систем с помощью усредненного по углам потенциала Эвальда», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – «Физика плазмы».

Фамилия, имя, отчество	Петров Юрий Васильевич
Гражданство	РФ
Ученая степень	Доктор наук
Отрасль науки	Физико-математические
Специальность	01.04.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника
Ученое звание	доцент
Должность	старший научный сотрудник
Место работы	Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук
Организационно-правовая форма	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Структурное подразделение	Сектор плазмы и лазеров
Адрес электронной почты	uyp49@mail.ru
Телефон	+7 (495) 702-93-17

## СПИСОК

Опубликованных работ в рецензированных научных изданиях официального оппонента по защите диссертации Демьянова Георгия Сергеевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Эффективный учет дальнего действия в моделировании классических и квантовых кулоновских систем с помощью усредненного по углам потенциала Эвальда», по специальности 1.3.9 – «Физика плазмы»

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
1	Моделирование бриллюэновских осцилляций, порожденных метаматериалом на основе наноструктурированной пленки никеля	Научная статья	А.В. Дышлок, С.А. Ромашевский, В.А. Хохлов, О.Б. Витрик, Н.А. Иногамов	Письма в ЖЭТФ. 2026. Т. 123. № 3. С. 177-186.	Да
2	Аномальное пропускание света оптически толстыми пленками никеля, являющимися оптоакустическими трансдьюсерами	Научная статья	С.А. Ромашевский, А.В. Дышлок, В.А. Хохлов, Е.М. Еганова, М.В. Поляков, С.А. Евлашин, С.И. Ашитков, О.Б. Витрик, Н.А. Иногамов	ЖЭТФ. 2025. Т. 167. № 5. С. 645-671. РИНЦ: 82347064. EDN: LNECVH.	Да
3	Эволюция микроструктуры приповерхностного слоя меди при термоциклировании лазерными импульсами наносекундной	Научная статья	И.В. Неласов, С.С. Манохин, Ю.Р. Колобов, В.В. Жаховский, Е.А. Перов, Ю.В. Хомич, Т.В. Малинский, Н.А. Иногамов, В.Е. Роголин	ЖЭТФ. 2025. Т. 167. № 6. С. 782-797.	Да

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
	длительности				
4	Formation of high-aspect-ratio nanocavity in LiF crystal using a femtosecond of X-ray FEL pulse	Научная статья	Sergey S. Makarov, Vasily V. Zhakhovsky, Sergey Yu. Grigoryev, Petr Chuprov, Tatiana A. Pikuz, Nail A. Inogamov, Victor A. Khokhlov, Evgeniy A. Perov, Vadim Shepelev, Takehisa Shobu, Aki Tominaga, Ludovic Rapp, Saulius Juodkazis, Mikako Makita, Motoaki Nakatsutsumi, Thomas R. Preston, Karen Appel, Zuzana Konopkova, Valerio Cerantola, Erik Brambrink, Jan-Patrick Schwinkendorf, István Mohacsi, Vojtech Vozda, Vera Hajkova, Tomas Burian, Jaromir Chalupsky, Libor Juha, Norimasa Ozaki, Ryosuke Kodama, Ulf Zastraу, Andrei V. Rode, Sergey A. Pikuz	Nature Communications. 2025. Vol. 16. Art. 11504.	Да
5	Сильное возбуждение электронной подсистемы золота ультракоротким лазерным импульсом и процессы релаксации около температуры плавления	Научная статья	Н.А. Иногамов, В.А. Хохлов, С.А. Ромашевский, М.А. Овчинников, С.И. Ашитков	ЖЭТФ. 2024. Т. 165. № 2. С. 165-190. РИНЦ: 67895449. EDN: QCBERE.	Да
6	Shock-induced melting and crystallization in titanium irradiated by ultrashort laser pulse	Научная статья	V. Zhakhovsky, Yu. Kolobov, S. Ashitkov, N. Inogamov, I. Nelasov, S. Manokhin, V. Khokhlov, D. Ilnitsky, A. Ovchinnikov, O. Chefonov, D. Sitnikov	Physics of Fluids. 2023. Vol. 35. No. 9. Art. 096104. РИНЦ: 62850561. EDN: TLCCWD.	Да
7	Определение важнейших параметров металла, облученного ультракоротким лазерным импульсом	Научная статья	Н.А. Иногамов, В.А. Хохлов, С.А. Ромашевский, В.В. Жаховский, С.И. Ашитков	Письма в ЖЭТФ. 2023. Т. 117. № 2. С. 107-114. JETP Letters. 2023. Vol. 117. No. 2. P. 104-110. WoS: 000953050900004	Да
8	Attenuation and inflection of initially planar shock wave generated by femtosecond laser pulse	Научная статья	V.V. Shepelev, N.A. Inogamov, V.V. Zhakhovsky, E.A. Perov, S.V. Fortova	Optics & Laser Technology. 2022. Vol. 152. Art. 108100. WoS: 000806575800002. Scopus: 2-s2.0-85127536392	Да
9	Лазерная ударная волна: пластичность, толщина слоя остаточных деформаций и переход из упругопластического в упругий режим распространения	Научная статья	Н.А. Иногамов, Е.А. Перов, В.В. Жаховский, В.В. Шепелев, С.В. Фортова	Письма в ЖЭТФ. 2022. Т. 115. № 2. С. 80-88. JETP Letters. 2022. Vol. 115. No. 2. P. 71-78. WoS: 000780909000003. Scopus: 2-s2.0-	Да

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
				85127510944	
10	Плавление титана ударной волной, вызванной мощным фемтосекундным лазерным импульсом	Научная статья	В.А. Хохлов, В.В. Жаховский, Н.А. Иногамов, С.И. Ашитков, Д.С. Ситников, К.В. Хищенко, С.С. Манохин, И.В. Неласов, В.В. Шепелев, Ю.Р. Колобов	Письма в ЖЭТФ. 2022. Т. 115. № 9. С. 576-584. JETP Letters. 2022. Vol. 115. No. 9. P. 523-530. Scopus: 2-s2.0-85133909970	Да
11	Сверхбыстрый перенос энергии в металлах в сильно неравновесном состоянии, индуцируемом фемтосекундными лазерными импульсами субтераваттной интенсивности	Научная статья	С.И. Ашитков, Н.А. Иногамов, П.С. Комаров, С.А. Ромашевский, Д.С. Ситников, Е.В. Струлёва, В.А. Хохлов	Теплофизика высоких температур. 2022. Т. 60. № 2. С. 218-234. High Temperature. 2022. Vol. 60. No. 2. P. 192-197. WoS: 000945071000009	Да

Официальный оппонент

д.ф.-м.н., с.н.с. ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН



Ю.В. Петров

Подпись Петрова Юрия Васильевича удостоверяю

и.о. ученого секретаря ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

д.ф.-м.н.



Аксёнов С.В.

## **Отзыв официального оппонента**

д.ф.-м.н. Петрова Юрия Васильевича

на диссертацию Демьянова Георгия Сергеевича “Эффективный учет дальнего действия в моделировании классических и квантовых кулоновских систем с помощью усредненного по углам потенциала Эвальда” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – Физика плазмы.

### **Актуальность темы диссертации**

В диссертации Демьянова Георгия Сергеевича исследуются актуальные вопросы моделирования невырожденной однокомпонентной, а также двухкомпонентной водородной плазмы, этих двух эталонных плазменных состояний кулоновских систем. Рассмотрено моделирование таких систем при периодических граничных условиях с учетом дальнего действующего кулоновского взаимодействия методом Эвальда. При этом проводится угловое усреднение потенциала Эвальда. Полученный потенциал позволяет более эффективно по времени вычисления рассчитывать рассматриваемые в диссертации характеристики плазмы, такие как термодинамические (энергия, давление) или состав. Рассмотренные в диссертации модели однокомпонентной и особенно двухкомпонентной (водородной) плазмы имеют большое применение в исследованиях в области энергетики, астрофизики.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертация состоит из предисловия, списка сокращений и обозначений, введения, 5 глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего 218 наименований. Во введении диссертационной работы обсуждается актуальность, научная новизна и практическая значимость задач, решаемых в диссертации.

В первых трех главах диссертации одновременно с детальным изложением теоретического материала, подробным выводом формул сделан обширный анализ литературы по рассматриваемым вопросам. В двух последующих главах разработанные теоретические методы использованы для проведения численных расчетов однокомпонентной и двухкомпонентной (водородной) плазмы в сравнении с имеющимися в литературе результатами.

### **Основные результаты диссертации и их научная новизна**

В главе 1 диссертации вводится потенциал Эвальда как результат суммирования взаимодействий в кулоновской системе при периодических граничных условиях. Здесь существенное внимание уделено обсуждению вопроса о дипольном слагаемом в выражении для потенциальной энергии. Введением векторного параметра в весовой функции форсирования сходимости показано отсутствие у дипольного слагаемого физического смысла. Показано, что при использовании вместо голого кулоновского взаимодействия потенциала Юкавы, имеющего естественное для рассматриваемых задач физическое происхождение, дипольный член не возникает. Проведено аккуратное усреднение анизотропной части потенциала Эвальда по углам и разложение полученной при этом изотропной величины в ряд Тейлора по расстоянию от центра. Усредненный по углам потенциал Эвальда получен для однокомпонентной и двухкомпонентной плазмы.

В главе 2 рассматриваются термодинамические свойства двухкомпонентных кулоновских систем с использованием матрицы плотности. Проведен детальный анализ применения псевдопотенциала Кельбга, обеспечивающего ограничение снизу потенциальной энергии и сходимости статистической суммы. Это происходит вследствие учета некоммутативности операторов кинетической и потенциальной энергии, иначе, соотношения неопределенностей для этих величин. Псевдопотенциал Кельбга, учитывающий и дальное действие, построен для парного

взаимодействия частиц в виде усредненного по углам потенциала Эвальда с учетом фермиевской статистики частиц и образования связанных состояний в водородной плазме.

**В главе 3** разобраны методы, использованные в главах 4 и 5 для расчетов термодинамических характеристик невырожденных однокомпонентной и двухкомпонентной (водородной) плазмы. Это методы Монте-Карло (для однокомпонентной плазмы), и Монте-Карло с интегралами по траекториям, а также молекулярная динамика с псевдопотенциалом Кельбга для водородной плазмы.

**В главе 4** с помощью разработанного усреднением по углам потенциала Эвальда и применением метода Монте-Карло производится расчет однокомпонентной плазмы. Показано, что с построенным усредненным по углам потенциалом Эвальда с высокой точностью рассчитываются постоянные Маделунга оцк и гцк решеток модели однокомпонентной плазмы с расчетным временем, почти на три порядка меньшим в сравнении с временем расчетов с анизотропным потенциалом Эвальда. Показано также и совпадение радиальных функций распределения в однокомпонентной плазме в широком диапазоне параметра неидеальности от 0.01 до 100 как при анизотропном, так и усредненном потенциалах Эвальда. Получены коэффициенты в уравнении состояния однокомпонентной плазмы в виде зависимости потенциальной энергии от параметра неидеальности, учитывающей асимптотику при больших и малых его значениях.

**В главе 5** приведены результаты численного моделирования невырожденной водородной плазмы. Для расчетов использованы как метод Монте-Карло, так и метод молекулярной динамики. Основные численные результаты по водородной плазме получены расчетами методом молекулярной динамики с интегралами по траекториям с его преимуществом перед Монте-Карло методом из-за неслучайного сдвига положений частиц. Получены радиальные функции распределения, состав плазмы в зависимости

от параметра неидеальности. Получено оптимальное значение отношения масс тяжелых и легких частиц около 200, позволяющее в экономном временном режиме с точностью, соответствующей реальному соотношению масс, исследовать водородную плазму и в случае высоких температур, когда присутствуют только ионизованные и нейтральные атомарные состояния, и в случае более низких температур, характеризующихся наличием молекулярных образований.

**Заключение** отражает основные результаты работы. **Приложение А** содержит описание разработанной программы KelbgLIP.

**Новизна.** В ходе выполнения диссертации впервые:

а) построен строгий аналитический вывод усредненного по углам потенциала Эвальда применительно к одно- и двухкомпонентным заряженным системам; на его основе получены расчетные формулы для потенциальной энергии и давления с необходимыми поправками к вириальному давлению в случае объемно-зависимых потенциалов;

б) найдено аналитическое выражение для потенциальной энергии однокомпонентной плазмы с усеченным потенциалом совместно с периодическими граничными условиями; систематически сопоставлены результаты Монте-Карло расчетов для нескольких вариантов потенциала с детальным анализом сходимости по числу частиц и роли дальнего действия;

в) высокотемпературная матрица плотности и псевдопотенциал Кельбга обобщены на случай явного учета дальнего действия с помощью усредненного по углам потенциала Эвальда; получены формулы для энергии, давления и действия водородной плазмы с учетом дальнего действия; совокупность полученных результатов воплощена в программном комплексе KelbgLIP;

г) предложен способ подавления нефизической кластеризации при низких температурах в квазиклассическом моделировании невырожденной водородной плазмы модификацией электрон-электронного потенциала.

При всех несомненных достоинствах диссертации следует сделать некоторые замечания.

Диссертация написана в очень хорошем стиле, с подробными выкладками для возникающих громоздких формул. В этом смысле она очень полезна для изучения предмета диссертации.

1) При этом, наверное, сложно избежать опечаток, в том числе и в формулах. Таковую опечатку следует отметить: в формуле (1.114) в качестве нижнего предела суммирования по  $k$  следует написать не 1, а 0. Это особенно важно, потому что именно вычислению нулевого коэффициента разложения далее уделяется место в тексте диссертации.

2) Хотелось, чтобы при определенном подборе параметров пики парных радиальных функций, обусловленные появлением связанных состояний, лучше соответствовали экспериментальным данным.

3) И вообще хотелось бы большего сравнения с результатами экспериментов.

Эти замечания тем не менее не влияют на высокую оценку диссертации, в которой **обоснованность** выдвигаемых автором научных положений и выводов и **достоверность** результатов определяется адекватным выбором физических моделей, применением соответствующих математического аппарата и численных методов и сравнением с результатами других теоретических, численных и экспериментальных исследований.

Все результаты, полученные в работе, являются **новыми** и опубликованы в виде 9 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК (из них 2 статьи – в высокорейтинговых зарубежных научных журналах первого квартиля). Основные результаты диссертации прошли **апробацию** на конференциях и семинарах (всего опубликовано 11 тезисов докладов).

Тема диссертации соответствует научной специальности 1.3.9 – физика плазмы. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация Демьянова Г.С. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013 г. (ред. 07.06.2021 г.), а ее автор, Демьянов Георгий Сергеевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9 – «Физика плазмы» за решение научной задачи построения вычислительно эффективных алгоритмов численного моделирования классических и квантовых невырожденных кулоновских систем, обеспечивающих корректный учет дальнедействующих взаимодействий посредством углового усреднения потенциала Эвальда.

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

доктор физико-математических наук

Петров Ю.В.

« 20 » апреля 2026 г..

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук

142432, Московская обл., г. Черноголовка, просп. Академика Семенова, д. 1А, тел.: +7 (495) 702-93-17, e-mail: [uvp49@mail.ru](mailto:uvp49@mail.ru).

Подпись Петрова Юрия Васильевича

и.о. ученого секретаря ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

д.ф.-м.н.

Аксёнов С.В.